

УДК 622.331

Р.А. Хлопецький, асп., В.Ф. Дідух, проф., д-р техн. наук

Луцький національний технічний університет

Кінематичний аналіз фрези для добування сапропелю

У статті наведено кінематичний аналіз та результати розрахунку робочого органу добувного модуля озерних сапропелів у вигляді фрези.

фреза, добувний модуль, ротор, траєкторія, різання, товщина зрізу, кут різання

Постановка проблеми. Україна, особливо її північно-західний регіон, багата на поклади озерного сапропелю, що належить до корисних копалин загальнодержавного значення. Найважливішою проблемою у сапропеледобуванні є невідповідність наявних засобів добування екологічному критерію [1]. Тому, розробка конструкцій та механізмів для добування сапропелевих покладів, які забезпечують екологічні умови є важливим питанням. Вибір фрези у якості робочого органу, лопаті якої виконані у формі секторів циліндра потребують дослідження процесу різання середнього шару сапропелю та, зокрема, кінематичного аналізу добувної фрези модуля для добування сапропелю з-під шару води [2].

Метою досліджень є розрахунок кінематичних параметрів фрези для добування сапропелю, зокрема: кутової швидкості, товщини зрізу сапропелю, швидкості поступального руху та кута різання.

Результати досліджень Робочі поверхні фрези обертаються зверху вниз у напрямку поступального руху добувного модуля. Поступальний рух робочого органу забезпечується швидкістю переміщення добувного модуля засобами папільйонування, а також завдяки обертовому рухові фрези.

До складу фрези входять чотири діаметрально розміщені робочі поверхні, виконані у формі секторів циліндра, які з'єднані між собою дисками і забезпечують різання сапропелю з мінімальним опором.

Траєкторія різання крайніх точок робочих поверхонь формується в результаті поєднання поступального руху u добувного модуля зі швидкістю w . Напрямок колового руху фрези у верхній частині співпадає з напрямком поступального переміщення добувного модуля, в нижній частині – протилежний йому.

Колову швидкість обертання фрези визначаємо за формулою Ейлера та попередньо встановлених параметрів:

$$v_{pk} = \omega \cdot R = 1,57 \cdot 0,4 = 0,63 \text{ м/с}, \quad (1)$$

де ω, R – відповідно радіальна швидкість і радіус обертання ріжучої кромки.

В кожний момент руху, в деякій точці на відстані $r_0 = \frac{u}{v_{pk}}$ від центральної осі фрези вниз швидкості поступального і колового руху зрівнюються. Тому траєкторії різання можна представити як криві, що утворюються коченням колеса без ковзання радіусом r_0 по даній прямій.

Траєкторія різання описується точкою (рис. 1) на продовженні кола радіусом R від його центру. Криві, що при цьому утворюються є трохоїдами. Їх рівняння в

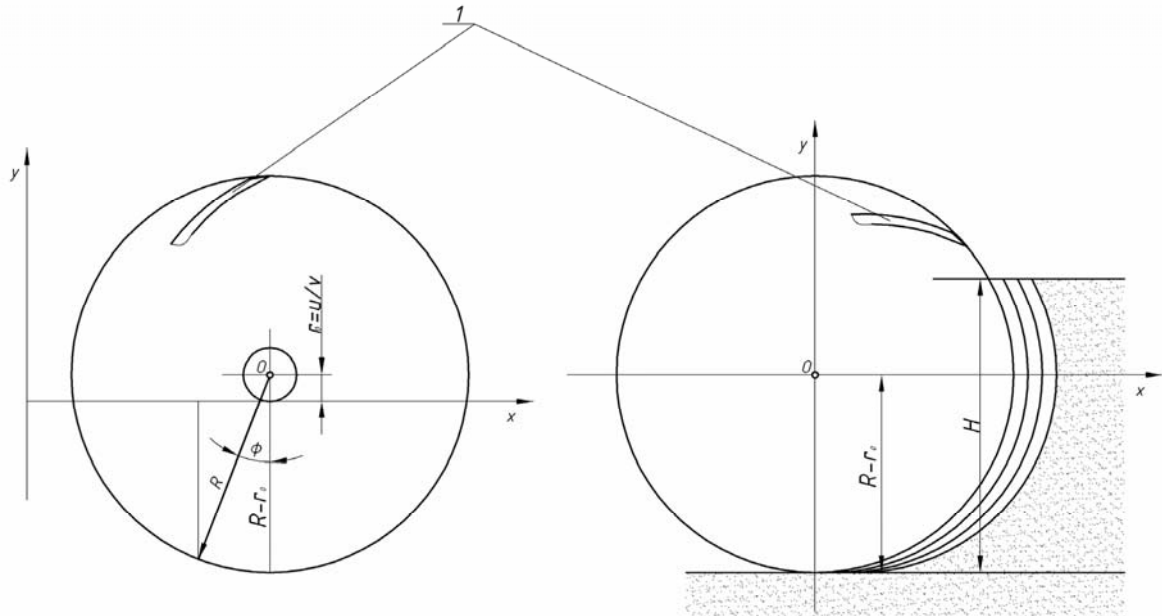
параметричній формі мають вигляд [3]:

$$\left. \begin{aligned} x &= r_0 \cdot \varphi + R \cdot \sin \varphi \\ y &= r_0 + R \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де φ – кут повороту фрези від початкового положення в радіанах;

R – радіус кола фрези до ріжучих кромок.

Траєкторія різання однією робочою поверхнею побудована по координатах x і y , обчислених для точок кола від 0° до 360° через кожні 30° .



1 – ріжуча кромка

Рисунок 1 – Схема траєкторії руху ріжучої кромки робочої поверхні фрези

Крок траєкторії різань кожним ножем, що вимірюється в напрямку переміщення модуля:

$$l_0 = 2\pi \cdot r_0. \quad (3)$$

Крок послідовних траєкторій різання:

$$l = \frac{l_0}{n_n}, \quad (4)$$

де n_n – кількість робочих органів фрези.

Швидкість різання v є величина змінна. При повному повороті ротора на кут φ вона становитиме:

$$v = \sqrt{u^2 + \omega^2 \cdot R^2 + 2\omega \cdot R \cdot u \cdot \cos \varphi}. \quad (5)$$

Кут різання також є змінним. Його величина визначається наступним чином:

$$\delta = \delta_1 - \varphi + \arctg k, \quad (6)$$

де δ_1 – кут між передньою гранню робочої поверхні і дотичною в точці ріжучої кромки.

Кутовий коефіцієнт дотичної до траєкторії різання визначаємо так:

$$k = \frac{R \cdot \sin \varphi}{\frac{u}{v_{pk}} + R \cdot \cos \varphi}. \quad (7)$$

Знайдемо значення коефіцієнта дотичної при повороті ротора на 90° :

$$k = \frac{0,4 \cdot 1}{0,05 + 0,4 \cdot 0} = 8.$$

Товщина зрізу в кожній точці траєкторії:

$$h \approx \frac{2\pi \cdot r_0}{n_n}, \text{ або } h \approx \frac{2\pi \cdot r_0}{n_n} \cdot \frac{k}{\sqrt{1+k^2}}. \quad (8)$$

Знайдемо товщину зрізу при повороті ротора на 90° :

$$h = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,05}{4} \cdot \frac{8}{\sqrt{1+64}} = 0,08 \text{ м.}$$

Рациональне співвідношення швидкостей обертання фрези v_{pk} і переміщення добувного модуля u визначаємо з умови заповнення сапропелем кожного умовного об'єму робочої поверхні фрези за час просування його в масиві до глибини $H = 0,75$ м від поверхні середнього шару:

$$q_r = \frac{2\pi \cdot r_0}{n_n} \cdot B \cdot H \text{ або } q_r = \frac{2\pi \cdot B \cdot H \cdot u}{n_n \cdot v_{pk}}, \quad (9)$$

звідки випливає:

$$v_{pk} = u \cdot \frac{2\pi \cdot B \cdot H}{n_n \cdot q_r}. \quad (10)$$

Отже швидкість u поступального руху модуля дорівнює:

$$u = \frac{v_{pk} \cdot n_n \cdot q_r}{2\pi \cdot B \cdot H} = \frac{6 \cdot 4 \cdot 0,12}{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 0,75} = 0,005 \text{ м/с.} \quad (11)$$

При проектуванні фрези слід правильно вибрати величини заднього кута, кута різання і кута нахилу ріжучої кромки робочої поверхні фрези.

γ – задній кут між дотичною до обводу кола різання і дотичною до траєкторії руху ріжучої кромки робочої поверхні фрези відомий для ґрунтів. Він приймається не менше $3-4^\circ$;

α – кут різання, що знаходиться між передньою ріжучою кромкою і дотичною до траєкторії різання. Він приймається в межах $25-35^\circ$.

Величину заднього кута визначаємо аналітично:

$$\gamma = \varphi - \lambda,$$

де φ – кут повороту ріжучої кромки робочої поверхні фрези:

$$\text{Кутові } \varphi \text{ відповідає подача } x_1 = u_z \cdot \frac{\varphi}{\delta},$$

де u_z – подача на робочу кромку ріжучої поверхні, що дорівнює:

$$u_z = \frac{v_n}{n \cdot z}; \quad (12)$$

v_n – подача за одну хвилину, $v_n = 0,005$ м/с;

n – частота обертання фрези, $n = 15$ с $^{-1}$;

z – число робочих поверхонь фрези, $z = 4$;

δ – центральний кут між робочими поверхнями, він знаходиться наступним чином:

$$\delta = \frac{2\pi}{z} = \frac{2 \cdot 3,14}{4} = 1,55 \text{ рад.} \quad (13)$$

Таким чином:

$$u_z = \frac{0,3}{15 \cdot 4} = 0,005 \text{ м.} \quad (14)$$

Перше коло на рис. 2 відповідає початковому положенню фрези; коло 2 відповідає положенню фрези після її повороту на кут φ і подачі на величину x_1 . При цьому точка A на ножі перемістилась у положення (A) .

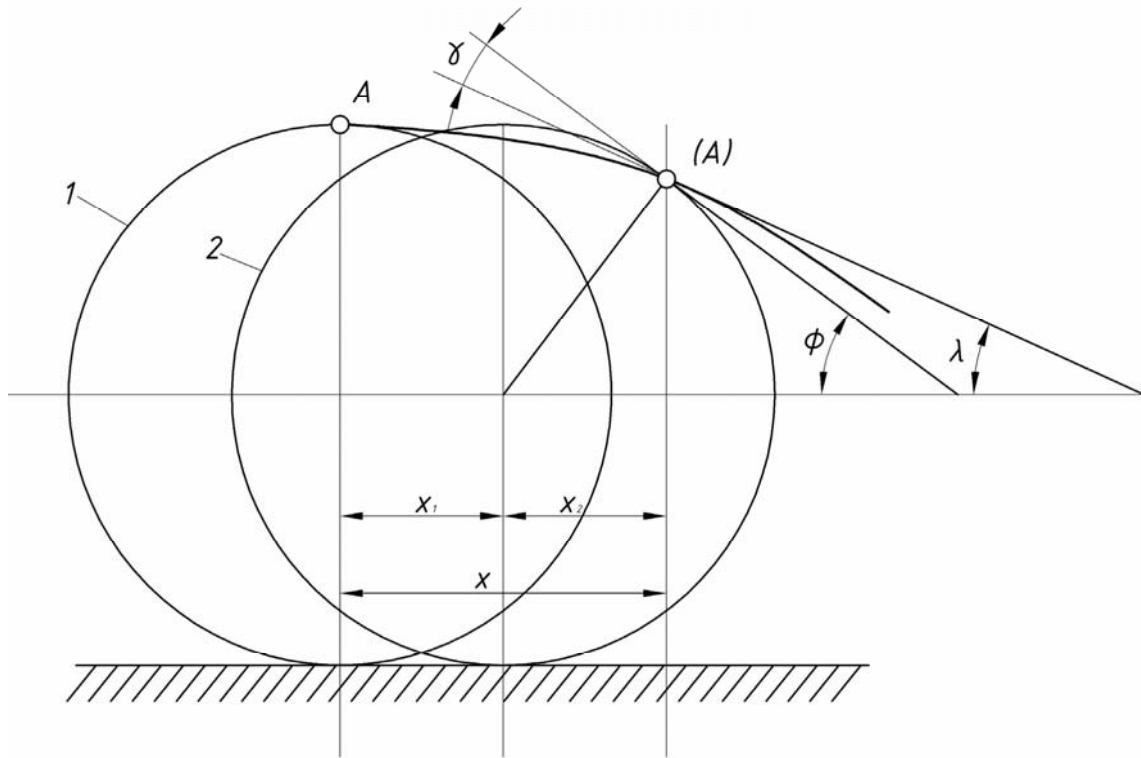


Рисунок - 2. Схема траєкторії руху точки на різучій кромці робочої поверхні фрези

Її координати визначаються виразами:

$$x = x_1 + x_2 = u_z \cdot \frac{\varphi}{\delta} + \frac{D_\phi}{2} \cdot \sin \varphi,$$

$$y = \frac{D_\phi}{2} - \frac{D_\phi}{2} \cdot \cos \varphi$$

де D_ϕ – діаметр фрези, $D_\phi = 0,8$ м.

Звідси:

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{u_z}{\delta} + \frac{D_\phi}{2} \cos \varphi;$$

$$\frac{dy}{d\varphi} = \frac{D_\phi}{2} \sin \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{dy}{dx} = \frac{\frac{D_\phi}{2} \sin \varphi}{\frac{u_z}{\delta} + \frac{D_\phi}{2} \cos \varphi} = \frac{D_\phi \sin \varphi}{D_\phi \cos \varphi + 2 \frac{u_z}{\delta}};$$

$$\gamma = \varphi - \lambda = \varphi - \operatorname{arctg} \frac{D_\phi \sin \varphi}{D_\phi \cos \varphi + 2 \frac{u_z}{\delta}}.$$

При $\varphi = 90^\circ$:

$$\gamma = 90^\circ - \operatorname{arctg} \frac{D_\phi}{2 \frac{u_z}{\delta}} = \operatorname{arctg} \frac{2u_z}{D_\phi \cdot \delta} = \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot 0,005}{0,8 \cdot 1,55} = \operatorname{arctg} 0,081 \approx 0,3^\circ.$$

Нехай $u_0 = 0,005$ м/с – подача за один оберт фрези, тоді:

$$u_z = \frac{u_0}{z} = \frac{0,005}{4} = 0,00125 \text{ м/с.}$$

Підставляючи значення у вираз для γ отримаємо:

$$\gamma = \arctg \frac{u_0}{\pi \cdot D_\phi} = \arctg \frac{0,3}{3,14 \cdot 0,8} = \arctg 0,12 \approx 7^\circ.$$

Кут різання визначається з наступної залежності:

$$\alpha = \gamma + \beta,$$

де β – кут заточки ріжучої кромки, який, виходячи з умов міцності кромки різця, приймається в межах 25-30°. Приймавши $\beta = 30^\circ$, отримуємо:

$$\alpha = 7^\circ + 30^\circ = 37^\circ.$$

Список літератури

1. Шевчук М. В. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання: Монографія. Луцьк: Надстир'я, 1996. – 384 с.
2. Патент України на корисну модель № 51204 «Добувний модуль озерних сапропелів» UA МПК(2009) E02F 3/88, 2010р.
3. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами. Киев: Машиностроение, 1971 г., 357с.

Р. Хлопецький, В.Дидух

Кинематический анализ фрезы для добычи сапропеля

В статье приведены кинематический анализ и результаты расчета рабочего органа добывающего модуля озерных сапропелей в виде фрезы

R.Hlopetsky, V.Didukh

Kinematic Analysis Of Sapropel Extraction Fraise

The article presents kinematic analysis and the calculation results of the working body of lake sapropel extractive module made as fraise.

Одержано 19.09.11